

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	5
-----------------------	---

### Часть I

#### Введение в динамику управляемых систем

Глава 1. Управляемые движения и процессы . . . . .	9
§ 1. Математическая модель движущегося объекта с терминальными элементами и многоуровневое управление движением . . . . .	9
§ 2. Уравнения в отклонениях и постановка задач синтеза позиционного управления . . . . .	17
§ 3. Управляемые процессы в механике полёта и биотехнологии . . . . .	25
Глава 2. Структурный анализ и линейный синтез . . . . .	35
§ 1. Критерии управляемости и наблюдаемости . . . . .	35
§ 2. Алгоритмы управления и оценивания с заданными свойствами переходных процессов . . . . .	48
§ 3. Структура стационарных динамических систем с позиций управляемости и наблюдаемости . . . . .	63
§ 4. Алгоритмы управления и оценивания системы со многими входами и выходами . . . . .	73
§ 5. Математическая модель замкнутой управляемой системы и её устойчивость . . . . .	80
§ 6. Синтез информационных процессов управления в механике полёта и биотехнологии . . . . .	89
Глава 3. Влияние стохастических возмущений . . . . .	103
§ 1. Некоторые понятия прикладной теории случайных процессов . . . . .	103
§ 2. Случайные возмущения динамики линейных систем и формирующие уравнения . . . . .	117

## Часть II

### Оптимизация движения

Глава 4. <b>Общая теория экстремальных задач</b> . . . . .	127
§ 1. Постановка задач оптимизации . . . . .	127
§ 2. Принцип Лагранжа для необходимых условий экстремума . . . . .	133
§ 3. Принцип максимума Понтрягина . . . . .	145
§ 4. Вариационное исчисление как часть теории оптимального управления . . . . .	149
§ 5. Фрагмент теории поля . . . . .	153
§ 6. Существование решений экстремальных задач и алгоритмы их поиска . . . . .	155
Глава 5. <b>Синтез оптимальных управлений</b> . . . . .	165
§ 1. Примеры Фельдбаума и Бушоу . . . . .	165
§ 2. Метод шатров и принцип максимума . . . . .	169
§ 3. Синтез оптимальных быстрых действий . . . . .	183
§ 4. Метод динамического программирования и его обоснование . . . . .	199
§ 5. Достаточное условие оптимальности в форме регулярного синтеза . . . . .	205
Глава 6. <b>Оптимальная стабилизация</b> . . . . .	214
§ 1. Оптимальное оценивание при случайных измерениях . . . . .	214
§ 2. Непрерывный фильтр Калмана . . . . .	226
§ 3. Меры оцениваемости . . . . .	232
§ 4. Задача сглаживания . . . . .	240
§ 5. Оптимальная стабилизация линейных систем . . . . .	245
§ 6. Математическая модель замкнутой системы с двумя уровнями оптимального управления . . . . .	256
§ 7. Оптимизация динамики управляемого полёта . . . . .	264
Глава 7. <b>Робастная оптимизация и максиминное тестирование качества стабилизации</b> . . . . .	273
§ 1. Робастная оптимизация . . . . .	273
§ 2. Задача Булгакова о максимальном отклонении и вариационный критерий абсолютной устойчивости . . . . .	278
§ 3. Гарантированное тестирование и минимаксная стабилизация . . . . .	304
§ 4. Седловая точка динамической игры и решение задач тестирования и стабилизации . . . . .	318
§ 5. Максиминное тестирование точности стабилизации стохастических систем . . . . .	342
Заключение . . . . .	359
Упражнения . . . . .	360
Список литературы . . . . .	368

### Предисловие

Более 60 лет назад в научной литературе появились постановки и решения конкретных экстремальных задач по анализу и синтезу управляемых динамических систем (Б.В. Булгаков — 1937 г., А.А. Фельдбаум — 1948 г. и др.). Затем были созданы и общие методы решения таких экстремальных задач (Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкрелидзе — 1956 г., Р. Беллман — 1957 г. и др.). Постепенно сформировалась новая область математики — оптимальное управление динамическими системами, или теория оптимизации управляемых систем. Число решённых конкретных задач и приложений результатов этой теории на практике огромно и не поддаётся детальному описанию. Число монографий и учебных пособий, посвящённых полностью или частично этим вопросам, также велико. Например, хорошо известные монографии Н.Н. Красовского, А.М. Летова. Однако среди них отсутствует книга, где были бы изложены одновременно и специфика различных экстремальных задач, возникающих при построении многоуровневых систем управления движением сложных объектов, и строгий подход к решению этих задач. Поэтому сотрудники механико-математического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и Математического института им. В.А. Стеклова решили создать учебное пособие «Оптимизация динамики управляемых систем» (изд-во Моск. ун-та, 2000) на базе тех книг, которые были написаны ими ранее: *Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления* (М.: Наука, 1969); *Галеев Э.М., Тихомиров В.М. Краткий курс теории экстремальных задач* (М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989); *Александров В.В., Злочевский С.И., Лемак С.С., Парусников Н.А. Введение в динамику управляемых систем* (М.: Мех.-мат. ф-т МГУ, 1993).

Данное учебное пособие состоит из двух частей. В первой части — «Введение в динамику управляемых систем» — собраны сведения, необходимые для математической постановки различных экстремальных задач по анализу и синтезу управляемых систем.

Во второй части — «Оптимизация динамики» — рассматриваются экстремальные задачи, возникающие при аналитическом конструировании двух уровней управления динамической системой: верхнего уровня — программного управления и нижнего уровня — позиционного управления.

Во втором, переработанном издании этого учебного пособия, которое выходит под названием «Оптимальное управление движением», сохранена структура книги и в то же время улучшено изложение отдель-